

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 10-022931  
 (43) Date of publication of application : 23.01.1998

(51) Int. Cl. H04B 10/17  
 H04B 10/16  
 H04B 10/02  
 H04B 10/18  
 // H01S 3/10

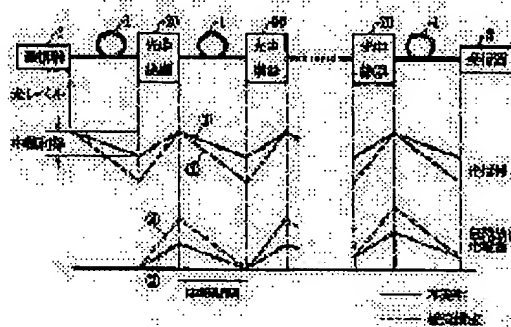
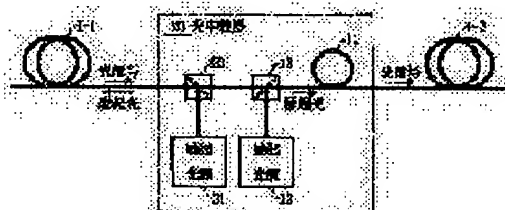
(21) Application number : 08-170183 (71) Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
 <NTT>  
 (22) Date of filing : 28.06.1996 (72) Inventor : MURAKAMI MAKOTO  
 OKAWA NORIO

## (54) OPTICAL REPEATER TRANSMISSION SYSTEM

## (57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the S/N ratio by inputting the stimulated light of a wavelength having a condition that the Raman amplification band of an optical fiber transmission line contains a signal light wavelength and compensating the distribution loss of the transmission line.

SOLUTION: An optical repeater 20 has an optical fiber amplifier constituted of a rare earth group added fiber 11, a stimulated light source 12 and a multiplex coupler 13, and a stimulated light source and a multiplex coupler 22. The stimulated light source 21 has a wavelength fitted for Raman-amplifying the optical fiber transmission line 1-1 with the light signal wavelength and an optical output level for realizing a prescribed gain. Thus, the light signal inputted from the optical fiber transmission line 1-1 to the optical repeater 20 can be amplified to a prescribed level. The light signal transmitted from a transmitter 2 is attenuated when it passes through the optical transmission line 1 and it is distributively amplified by Raman amplification. In an optical repeater 10, the signal is amplified to the original light signal level but the repeater gain reduces and natural radiated noise is reduced. The reduction and amplification are repetitively transmitted to a receiver 3.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.04.2001

[Date of sending the examiner's decision  
of rejection]

[Kind of final disposal of application  
other than the examiner's decision of  
rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-22931

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月23日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B	10/17		H 0 4 B 9/00	J
	10/16		H 0 1 S 3/10	Z
	10/02		H 0 4 B 9/00	M
	10/18			
// H 0 1 S	3/10			

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平8-170183

(22) 出願日 平成8年(1996) 6月28日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 村上 誠

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 大川 典男

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 古谷 史旺

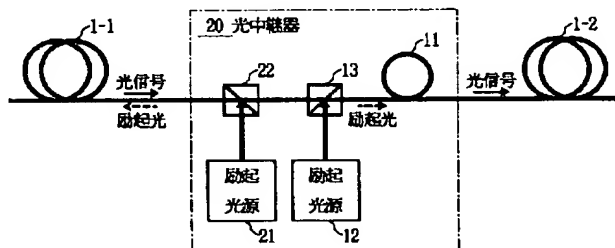
(54) 【発明の名称】 光中継伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 光中継器数を削減して中継間隔を増大させても、信号対雑音比の劣化を低減する。

【解決手段】 光中継器内に、光ファイバ伝送路のラマン増幅帯域が信号光波長を含むような条件を有する波長の励起光を光ファイバ伝送路に入力し、光ファイバ伝送路の分布損失を補償する手段を備える。

本発明の光中継伝送システムの第1の実施形態



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバ伝送路内に光中継器を配置し、光ファイバ伝送路で生じた信号光損失を補償する光中継伝送システムにおいて、前記光中継器内に、前記光ファイバ伝送路のラマン増幅帯域が信号光波長を含むような条件を有する波長の励起光を出力する励起光源と、この励起光を前記光ファイバ伝送路に入力する結合手段とを備えたことを特徴とする光中継伝送システム。

【請求項2】 光中継器として光ファイバ増幅器を用い、この光ファイバ増幅器に入力する励起光と光ファイバ伝送路に入力する励起光を同一波長帯とし、各励起光を光ファイバ増幅器および光ファイバ伝送路に入力する結合手段を兼用した構成であることを特徴とする請求項1に記載の光中継伝送システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光中継器を用いて光ファイバ伝送路における信号光損失を補償する光中継伝送システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】図7は、従来の光中継伝送システムの光中継器（光ファイバ増幅器）の基本構成を示す。図にお

$$P_{ASE} = 2 n_{sp} (G - 1) h \nu m B$$

と表され、光中継器数 $m$ に応じて大きくなることがわかる。

## 【0004】

$$m = L_{tot} / L_{rep}$$

と表される。中継利得は、中継区間内の光ファイバ損失

$$G = \exp(\alpha L_{rep})$$

の関係が成り立つ。式(1)から式(3)により、光中継伝送システムの全長 $L_{tot}$ が与えられたときの自然放出光雑音と中継利得の関係は、

$$P_{ASE} = \frac{2 n_{sp} (G - 1) h \nu \alpha L_{tot} B}{\log_e G} \quad \dots(4)$$

【0006】となる。この式(3)、(4)における

## 【0007】

$$\frac{G - 1}{\log_e G} = \frac{\exp(\alpha L_{rep}) - 1}{\alpha L_{rep}} \quad \dots(5)$$

【0008】の関係をみると、中継間隔 $L_{rep}$ を長くするほど自然放出光雑音電力 $P_{ASE}$ が大きくなることがわかる。一方、光中継器の光信号出力レベルは、希土類添加ファイバの効率およびこれを励起する励起光源出力により制限されている。また、光信号出力レベルの増大とともに光ファイバ伝送路の非線形効果が顕著になるので、これによっても光信号出力レベルは制限されている。

【0009】したがって、光ファイバ増幅器を光中継器

いて、光中継器10は、希土類添加ファイバ11と、励起光源12と、合波コブラ13とにより構成される。励起光源12から出力された励起光は、合波コブラ13を介して希土類添加ファイバ11に入力され、光ファイバ伝送路1-1から希土類添加ファイバ11に入力される信号光を増幅して光ファイバ伝送路1-2に送出する。希土類添加ファイバ11としては、一般的にエルビウムドープファイバが用いられる。

【0003】図8は、従来の光中継伝送システムの光信号レベルダイアグラムを示す。図において、送信器2から送信された光信号は、光ファイバ伝送路1を通過することにより減衰し、光中継器10で元の光信号レベルまで増幅される。光信号は、このような減衰と増幅を繰り返して受信器3に伝達される。このとき、光ファイバ増幅器を用いた光中継器10では、光信号の増幅と同時に自然放出光雑音が発生し、これが各光中継器10で累積し、受信器3における信号対雑音比の主たる劣化要因となることが知られている（Journal of Lightwave Technology, vol. LT-9, No. 2, pp. 170-173）。自然放出光雑音電力 $P_{ASE}$ は、増幅器の利得 $G$ 、反転分布パラメータ $n_{sp}$ 、プランク定数 $h$ 、光信号周波数 $\nu$ 、光中継器数 $m$ 、受信器帯域 $B$ とすると、

$$\dots(1)$$

【発明が解決しようとする課題】ところで、光中継伝送システムの全長を $L_{tot}$ とし、各中継区間長を $L_{rep}$ とすると、光中継器数 $m$ は、

$$\dots(2)$$

を補償するので、光ファイバの損失係数を $\alpha$ とすると、

$$\dots(3)$$

## 【0005】

## 【数1】

## 【数2】

として用いた光中継伝送システムでは、所要の信号対雑音比を確保するために、中継間隔をある程度以上長くすることはできない。また、式(5)によれば、光中継器数を減らすより、中継間隔を短くする方が自然放出光雑音電力を小さくでき、信号対雑音比が改善されることがわかる。しかし、これでは光中継器数が増えることになり、システム全体のコストを上昇させ、信頼性を低下させることになる。

【0010】本発明は、光中継器数を削減して中継間隔

## 3

を増大させても、信号対雑音比の劣化を低減することができる光中継伝送システムを提供することを目的とする。

## 【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】本発明の光中継伝送システムは、光中継器内に、光ファイバ伝送路のラマン増幅帯域が信号光波長を含むような条件を有する波長の励起光を光ファイバ伝送路に入力し、光ファイバ伝送路の分布損失を補償する手段を備える。なお、光中継器では、従来通りの光ファイバ伝送路で生じた信号光損失を補償する光増幅が行われる。

【 0 0 1 2 】本発明では、さらに光ファイバ伝送路上記の条件の励起光を入力し、所定の利得が得られるようにする。これにより、光信号はラマン増幅効果により分布的に増幅され、光中継器への光信号入力レベルが増大する。その結果、光中継器では、従来と同じ光信号出力レベルを得るための中継利得を減少させることができ、それに伴って自然放出光雑音を減少させることができ、信号対雑音光の向上を図ることができる。また、中継利得の減少は、光増幅器を励起する励起光源の出力を軽減させることのできるため、消費電力の低減と信頼性を向上させることができる。

【 0 0 1 3 】なお、ラマン増幅は非線形効果によるものであるとともに分布的に行われるので、これによる雑音発生量は同利得の集中型増幅器に比べて十分に小さいことが知られている（参考文献：Nonlinear Fiber Optics, Academic Press発行）。

## 【 0 0 1 4 】

## 【発明の実施の形態】

（第 1 の実施形態…請求項 1）図 1 は、本発明の光中継伝送システムの第 1 の実施形態を示す。図において、光中継器 2 0 は、希土類添加ファイバ 1 1、励起光源 1 2、合波カプラ 1 3 により構成される光ファイバ増幅器

$$G_A = \exp \left\{ \frac{g_R P_0 \{1 - \exp(-\alpha_p L)\}}{\alpha_p A_{eff}} \right\} \quad \dots(6)$$

【 0 0 1 9 】と表される。なお、各パラメータは、通常  $g_R = 4 \times 10^{-14}$  [m/W]、 $\alpha_p = 0.25$  [dB/km]、 $A_{eff} = 50$  [ $\mu m^2$ ] 程度である。ここで、ファイバ長  $L = 100$  [km]、励起光源出力  $P_0 = 100$  [mW] とすると、式(6)よりファイバ出力端での光信号利得は 6 [dB] となる。光信号波長におけるファイバ損失係数を 0.2 [dB/km] とすれば、100 [km] の中継間隔で 70 [km] の中継間隔と同等の信号対雑音比が得られることになる。

【 0 0 2 0 】図 3 は、本発明の光中継伝送システムの一の中継区間における測定結果を示す。ここでは、80 [km] 長の光ファイバ伝送路の光信号レベル分布をオプティカル・タイムドメイン・リフレクトメトリ装置を用いて測定した。図において、横軸は距離、縦軸は光信号レ

## 4

と、励起光源 2 1 およびその光出力を光ファイバ伝送路 1-1 に入力する合波カプラ 2 2 とにより構成される。光ファイバ増幅器については、従来と同様であるので説明は省略する。

【 0 0 1 5 】励起光源 2 1 は、光ファイバ伝送路 1-1 に光信号波長でラマン増幅を起こさせるのに適した波長と、所定の利得を実現するだけの光出力レベルを有する。これにより、光ファイバ伝送路 1-1 から光中継器 2 0 に入力される光信号を所定のレベルまで増幅することができる。図 2 は、本発明の光中継伝送システムの光信号レベルダイアグラムを示す。

【 0 0 1 6 】図において、送信器 2 から送信された光信号は、光ファイバ伝送路 1 を通過することにより減衰するが、図中実線で示すようにラマン増幅によって分布的に増幅される。なお、破線は従来の光信号レベルを示す。これにより、光中継器 2 0 への光信号入力レベルが増大する。光中継器 1 0 では、元の光信号レベルまで増幅するが、従来と同じ光信号出力レベルを得るための中継利得は減少する。それに伴って、図中実線で示すように自然放出光雑音も減少する。なお、破線は従来の自然放出光雑音レベルを示す。光信号は、このような減衰と増幅を繰り返して受信器 3 に伝達される。

【 0 0 1 7 】一般に、ラマン増幅は、励起光源周波数に対して媒質によって決まる一定周波数離れた帯域に利得をもち、光ファイバの場合は 13 THz 程度であることが知られている。例えば、1.55  $\mu m$  帯の光信号波長を増幅するためには、励起光源波長は 1.45  $\mu m$  付近であることが必要である。増幅利得  $G_A$  は、ラマン増幅利得係数を  $g_R$ 、励起光源出力を  $P_0$ 、励起光源波長におけるファイバ損失係数を  $\alpha_p$ 、ファイバ長を  $L$ 、ファイバの有効断面積を  $A_{eff}$  とすると、

## 【 0 0 1 8 】

## 【数 3】

ベルである。ラマン増幅用励起光を光ファイバ伝送路に入力することにより、出力端における光信号レベルが増大していることがわかる。

【 0 0 2 1 】図 4 は、本発明の光中継伝送システムにおける 2400 [km] 伝送後の光スペクトル測定結果を示す。図において、横軸は波長、縦軸は光パワースペクトル密度である。ラマン増幅用励起光を入力したときの光スペクトル（図中実線）と、入力しないときの光スペクトル（図中破線）を比較すると、本発明による著しい信号対雑音比の向上が認められる。

【 0 0 2 2 】（第 2 の実施形態…請求項 2）図 5 は、本発明の光中継伝送システムの第 2 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第 1 の実施形態における希土類添加ファイバ 1 1 を励起するための励起光源 1 2 と、光ファ

5

イバ伝送路1-1でラマン増幅するための励起光源21を同一波長帯とし、各励起光を希土類添加ファイバ11および光ファイバ伝送路1-1に入力するための合波カプラ13、22を兼用させたところにある。これにより、構成の簡略化と合波カプラの挿入損失の低減を図ることができる。

【0023】(第3の実施形態…請求項1)図6は、本発明の光中継伝送システムの第3の実施形態を示す。第1の実施形態および第2の実施形態では、光中継器20の入力側に接続された光ファイバ伝送路1-1に、ラマン増幅のための励起光を入力する構成を示した。図6に示す第3の実施形態では、光中継器20の出力側に接続された光ファイバ伝送路1-2に、ラマン増幅のための励起光を入力する構成を示す。

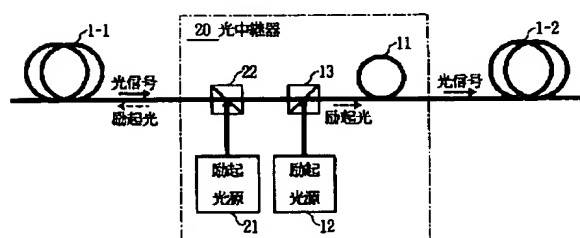
【0024】なお、光中継器20の光ファイバ増幅器が後方励起型であり、励起光源12と励起光源21が同一波長帯にあれば、第2の実施形態と同様に2つの合波カプラ13、22を兼用させることができる。また、光中継器20の入力側および出力側の双方から、光ファイバ伝送路1-1、1-2にそれぞれラマン増幅のための励起光を入力する構成であってもよい。

【0025】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光中継伝送システムは、光ファイバ伝送路中で光信号のラマン増幅を起こさせることにより、自然放出光雑音を減少させることができ、信号対雑音光の向上を図ることができる。これによって、光中継伝送システムにおける中継間隔に対する要求条件を大幅に緩和することができ、光中

【図1】

本発明の光中継伝送システムの第1の実施形態



6

継器の削減によってシステム全体のコストを低減させ、信頼性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光中継伝送システムの第1の実施形態を示す図。

【図2】本発明の光中継伝送システムの光信号レベルダイアグラム。

【図3】本発明の光中継伝送システムの一中継区間における測定結果を示す図。

10 【図4】本発明の光中継伝送システムにおける2400[km]伝送後の光スペクトル測定結果を示す図。

【図5】本発明の光中継伝送システムの第2の実施形態を示す図。

【図6】本発明の光中継伝送システムの第3の実施形態を示す図。

【図7】従来の光中継伝送システムの光中継器（光ファイバ増幅器）の基本構成を示す図。

【図8】従来の光中継伝送システムの光信号レベルダイアグラム。

20 【符号の説明】

1 光ファイバ伝送路

2 送信器

3 受信器

10, 20 光中継器

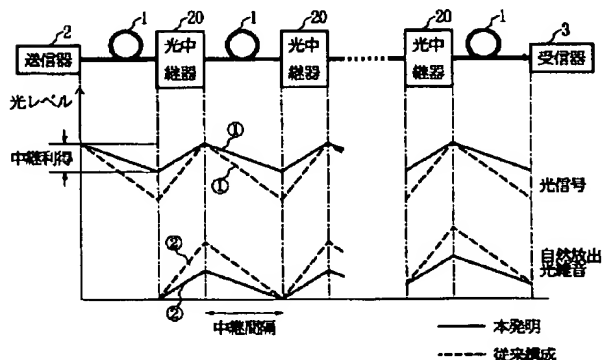
11 希土類添加ファイバ

12, 21 励起光源

13, 22 合波カプラ

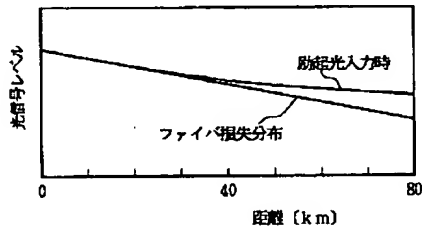
【図2】

本発明の光中継伝送システムの光信号レベルダイアグラム

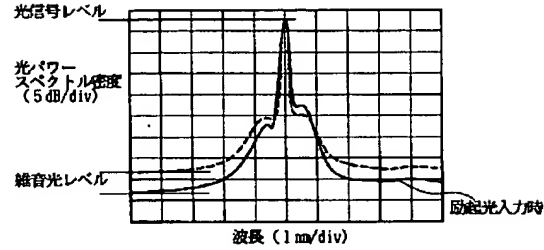


【図3】

本発明の光中継伝送システムの中継区間における測定結果

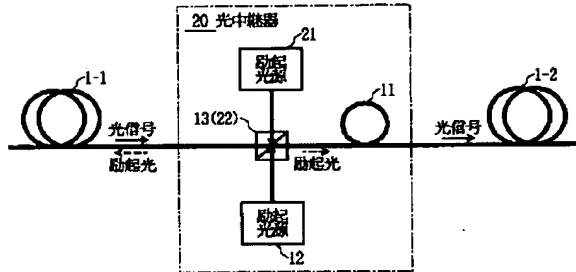


【図4】

本発明の光中継伝送システムにおける  
2400 0nm 伝送後の光スペクトル測定結果

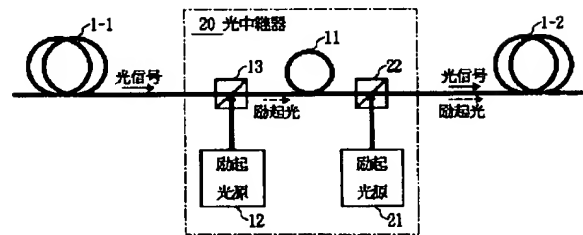
【図5】

本発明の光中継伝送システムの第2の実施形態



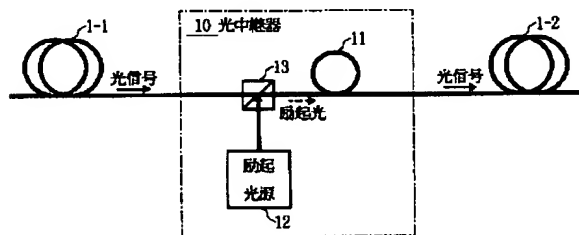
【図6】

本発明の光中継伝送システムの第3の実施形態



【図7】

従来の光中継伝送システムの光中継器（光ファイバ増幅器）の基本構成



【図8】

従来の光中継伝送システムの光信号レベルダイアグラム

